

# Der Gravitationswellendetektor GEO 600 An der Schwelle zur Gravitationswellen- Astronomie

Welling, Herbert

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 2002 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.45-47



J. Cramer Verlag, Braunschweig

HERBERT WELLING, Hannover

**Der Gravitationswellendetektor GEO 600**

An der Schwelle zur Gravitationswellen-Astronomie

Braunschweig, 31.05.2002\*

Gravitationswellen sind eine Konsequenz der Allgemeinen Relativitätstheorie, der Gravitationstheorie Albert Einsteins von 1915. Nach Einsteins Ansicht wird der physikalische Raum durch Massen verformt. Die dadurch erzeugte Krümmung des Raums bestimmt die Bewegung anderer Massen und wirkt so als Gravitations„kraft“. Bewegen sich Massen beschleunigt in der Raumzeit, so breiten sich die dadurch hervorgerufenen Änderungen in der Raumkrümmung mit Lichtgeschwindigkeit wellenförmig nach allen Seiten aus. Bei diesen Gravitationswellen handelt es sich um Transversalwellen, die in zwei verschiedenen Schwingungsformen auftreten. Die möglichen Frequenzen liegen im Bereich von  $10^{-17}$  bis  $10^4$  Hz. Da die Effekte der Allgemeinen Relativitätstheorie sehr klein sind, erzeugen nur sehr große Massen mit sehr großen Beschleunigungen meßbare Gravitationswellenamplituden. Als mögliche Quellen kommen daher nur astrophysikalische Objekte oder Ereignisse in Frage (z.B. Binärsystem aus Schwarzen Löchern und Neutronensternen oder Supernovae).

Die Wirkung dieser Wellen äußert sich als eine Verzerrung der Raumzeit, als abwechselnde Dehnung und Stauchung des Raums und von allem, was sich darin befindet. Bei zwei senkrecht auf einander stehenden Meßstrecken führt dies zu einer unterschiedlichen Längenänderung. Das sollte sich mit einem Michelson-Interferometer leicht nachweisen lassen. Das Problem für den Experimentalphysiker besteht darin, daß die Längenänderungen extrem klein sind. Eine Supernova-Explosion in einer benachbarten Galaxie ändert beispielsweise die Länge einer 1 km langen Teststrecke auf der Erde nur um ein Tausendstel eines Protonendurchmessers, für einige Millisekunden. Seit mehr als 30 Jahren versucht man, Gravitationswellen nachzuweisen, aber erst heute besitzen wir die notwendige empfindliche Lasermesstechnik zum Nachweis so kleiner Längenänderungen.

Beim Einsatz von Laserinterferometern für den Gravitationswellennachweis treten viele Störungen auf, die zu Schwankungen in der Lichtwegdifferenz zwischen den beiden Armen führen und dadurch ein Signal vortäuschen. Naheliegende Störquellen sind Bodenerschütterungen aller Art, die Wärmebewegung der Luft und der optischen Komponenten, aber auch die durch das Meßverfahren erzeugten Schwankungen wie Schrotrauschen und Strahlungsdruckrauschen. Um die erforderliche Empfindlichkeit zu erreichen, müssen diese Störquellen hinreichend abgeschwächt oder in einen Frequenzbereich außerhalb des Meßfensters (20 Hz bis 2 kHz) verschoben werden. Dazu mußte eine Reihe technischer

---

\* Kurzfassung eines Vortrags gehalten vor der Plenarversammlung der Braunschweigischen Wissenschaftlichen Gesellschaft.

Verbesserungen und Neuentwicklungen durchgeführt werden, da die Anforderungen den vorhandenen Standard auf fast allen Gebieten überstiegen.

GEO 600 ist ein Gemeinschaftsprojekt deutscher und britischer Forschergruppen. Es handelt sich dabei um ein Michelson-Interferometer mit 600 m Armlänge, das ab September 1995 auf dem Gelände der Universität Hannover in Ruthe südlich von Hannover errichtet wurde. Federführend sind Wissenschaftler aus Garching, Hannover, Glasgow, Cardiff und Golm (bei Potsdam). Alle optischen Aufbauten sind in großen Vakuumtanks untergebracht. Die Meßstrecken selbst verlaufen in evakuierten Edelstahlrohren mit einem Durchmesser von 60 cm. Das Vakuum ist besser als  $10^{-11}$  bar (Ultrahochvakuum).

Eine besondere Herausforderung stellte die Entwicklung eines geeigneten Lasers für GEO 600 dar. Laser für Gravitationswellendetektoren müssen nicht nur besonders leistungsstark sein, sondern auch extrem stabil bezüglich Frequenz, Amplitude und geometrischer Verteilung des Lichts und monatelang stabil im Dauerbetrieb arbeiten. Zusammen mit dem Laser Zentrum Hannover wurde in den letzten Jahren ein Laser mit einer Ausgangsleistung von 17 W Dauerleistung auf der Basis eines diodengepumpten Nd:YAG-Lasersystems bei einer Wellenlänge von 1064 nm entwickelt. Da die optimale Lichtleistung für GEO 600 aber im Kilowatt-Bereich liegt, mußte eine Möglichkeit gefunden werden, die umlaufende Lichtleistung im Detektor zu erhöhen. Das Interferometer arbeitet mit einer Nullmethode: Durch Regelkreise wird der Ausgang dunkel gehalten. Das bedeutet, daß das Laserlicht nach dem Durchlaufen der Arme zurück zum Eingang gelenkt wird. Durch einen zusätzlichen Spiegel, der mit dem Interferometer einen Resonator bildet, kann dieses Licht erneut in die Arme eingespeist und phasenrichtig mit dem einfallenden Licht überlagert werden („Power-Recycling“). GEO 600 kann auf diese Weise effektiv mit 10 kW arbeiten. Das „Signal-Recycling“ sorgt mit einer ähnlichen Methode für die Überhöhung des Signals.

Seit 1995 hat man weltweit mit dem Bau von großen Laserinterferometern zum Gravitationswellennachweis begonnen. Im Rahmen des US-amerikanischen Projekts LIGO wurden Detektoren mit 4 km langen Armen gleich an zwei Standorten errichtet, einer im Nordwesten der USA (Washington) und einer im Südosten (Louisiana). In der Nähe von Pisa entsteht das französisch-italienische Projekt VIRGO mit 3 km Armlänge; mit der Fertigstellung ist für 2003 zu rechnen. Alle Detektoren setzen Nd:YAG-Laser bei einer Wellenlänge von 1064 nm mit Power-Recycling ein. Trotz seiner kürzeren Armlänge erreicht GEO 600 etwa die gleiche Empfindlichkeit wie die großen Detektoren, da es im Unterschied zu ihnen bereits in der ersten Ausbaustufe die in den letzten Jahren entwickelten fortschrittlichen Technologien nutzt. Signal-Recycling, monolithische Spiegel-aufhängung und die Möglichkeit, den Detektor abzustimmen, werden bisher einzig bei GEO 600 eingesetzt.

Die verschiedenen Projekte stehen nicht etwa in Konkurrenz miteinander, sie sind auf Zusammenarbeit angewiesen. Erst in Koinzidenz mit einem weit entfernten Detektor kann man sicher sein, keinen lokalen Störungen aufgesessen zu sein. Um aber auch Informationen über die Richtung der Quelle sowie über die Polarisierung der Signale zu erhalten, benötigt man ein weltweites Netz von wenigstens vier Detektoren. Daher haben die verschiedenen Stationen den Austausch und die gemeinsame Auswertung der Daten verein-

bart. Besonders eng ist die Zusammenarbeit zwischen GEO 600 und LIGO. Beide Gruppen werden die Daten nicht nur gemeinsam analysieren, sondern die Ergebnisse auch gemeinsam veröffentlichen. Von Ende Dezember 2001 bis Mitte Januar 2002 fand ein paralleler Probelauf beider Detektoren statt, in dem erfolgreich die Systemstabilität und Programme zur Datenaufnahme getestet wurden. Ab 2003 soll der reguläre Meßbetrieb aufgenommen werden.

Mit der Beobachtung von Gravitationswellen wird sich ein neues Gebiet der Astronomie eröffnen. Wir werden Informationen über das Universum erhalten, die völlig anderer Art sind als die aus der klassischen Astronomie mit Licht, Radiowellen oder Röntgenstrahlung.

Die meisten Quellen von Gravitationswellen senden keine elektromagnetische Strahlung aus und umgekehrt. Die Informationen über das All, die man mit diesen beiden Zweigen der Astronomie erhält, sind in gewisser Weise komplementär. Ferner erwartet man Gravitationswellen auch aus den bisher verschlossenen, dunklen Bereichen des Universums sowie aus seiner Entstehungszeit. Mit überraschenden Entdeckungen ist also zu rechnen.

---

Prof. Dr. rer.nat. Herbert Welling  
Physik · Universität Hannover  
Nogatweg 13 · D-30916 Isernhagen